УДК 621.382.049.77 (075.8)

А.К. ТУГЕНГОЛЬД

АВТОНОМНОСТЬ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОСТЬ МЕХАТРОННЫХ ОБЪЕКТОВ

В статье вводится представление о человеко-мехатронных системах; на основе анализа взаимодействия человека и мехатронного объекта формулируются понятия автономности и уровня интеллектуальности, предложены зависимости для определения соответствующих оценок.
Ключевые слова: *мехатронные объекты и системы, интеллектуальное управление, автономность, интеллектуальность.*

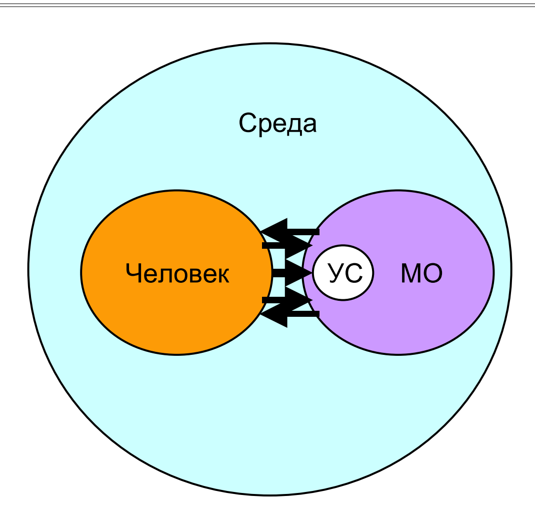
Введение. Мехатронные объекты (МО) [1] как сложные открытые системы, оснащенные интеллектуальным управлением, должны обладать рядом свойств, которыми обычные машины не наделены. К числу таких свойств относятся:

- способность достигать целей, меняющихся во времени;
- способность сопоставлять, использовать и преобразовывать знания для принятия решений и формирования управляющих воздействий;
- возможность ориентироваться в многообразии проявления внешней среды, варьируя методы взаимодействия с ней и выполняя прогнозируемые действия;
- принимать решения в условиях получения неполной и нечеткой информации;
- обеспечивать интеллектуальный интерфейс с пользователем, другими системами и МО;
- самостоятельно планировать ресурсы и концентрировать их в нужном направлении и пр.

В этих случаях им требуется обладать функциями принятия решений и управления, близкими к интеллектуальным функциям человека. Это дает возможность, в частности, восполнить утрачиваемый при автоматизации вклад опытного рабочего в достижение точности и производительности.

Здесь можно говорить теперь о ветви человеко-машинных систем – человеко-мехатронных системах. Если в первом случае понималось взаимодействие человека и ЭВМ, то во втором – взаимодействие человека с рабочей машиной – МО, имеющим компьютеризированную управляющую систему (УС) и выполняющим механические движения с целью преобразования энергии, информации и материалов главным образом в технологических целях (см.рисунок).

Задачи исследования. В данном случае важным являются исследования методов работы оператора-профессионала в области получения, переработки, представления и использования информации о состоянии среды и об элементах технологической системы, в том числе информации о характере протекания процессов выполнения технологических операций [2].



Человеко-мехатронная система

История развития техники характеризуется изменением степени участия в производственном процессе техники и человека. Если на начальном этапе эволюции развития техники (орудийном) основные производственные функции принадлежали человеку, то на последующих (машинных) этапах они все в большей степени передаются машине. Если принять во внимание традиционное определение машины как устройства, выполняющего механические движения с целью преобразования энергии, материалов и/или информации, то функции управления возлагаются на человека-оператора. В связи с развитием машиностроения существенно изменяется роль оператора во взаимодействии с машиной. Функции оператора эволюционируют от машин с ручным управлением до машин-автоматов и машин с программным управлением. Если, например, в станках-автоматах человек выполнял разработку технологической наладки, проектировал, изготавливал и устанавливал на станок механические элементы (дисковые и цилиндрические кулачки, копирные линейки и др.) для управления, то в станках с программным управлением его функции сводились к разработке программы и ее трансляции в систему ЧПУ станка. Кроме непосредственно управления человек выполняет здесь и такие функции, как материальное оснащение (например, подачу и установку заготовок), диагностику состояния и обслуживание станка, удаление стружки из рабочей зоны и пр.

Уже давно машины превзошли человека и другие живые организмы в силе, выносливости, скорости передвижения, высоте полета и многих других возможностях. На современном этапе происходит наделение машины интеллектуальными функциями, которые ранее были только прерогативой человека. Эти функции превращают машины в мехатронные объекты по определению.

Современные мехатронные системы, создаваемые для производства, при удовлетворении требований по таким категориям качества, как быстродействие, точность, надежность и пр., обеспечиваются новыми свойствами. К таким свойствам относятся способность перестраиваться при изменяющихся технологических условиях, адаптироваться к ставящимся целям, учитывать состояние самих мехатронных объектов, т.е. выполнять неформализуемые или трудноформализуемые задачи. В этих случаях

им требуется обладать функциями принятия решений и управления, близкими к интеллектуальным функциям человека.

В связи с тем, что МО существенно изменяют функции человека во взаимодействии с машиной и создают совершенно новые перспективы, анализ категорий качества мехатронных объектов с позиций системы «человек - машина» имеет, на наш взгляд, основополагающее значение в мехатронике.

По определению человеко-машинная система [man-machine system] – система, состоящая из людей и техники, причем все ее элементы (и человек, и машина) взаимно дополняют друг друга, используя, таким образом, преимущества и того, и другого. Основное преимущество человека – в его творческом разуме, умении подходить к решаемым задачам нестандартно, эвристически. Но человек уступает машине в быстродействии, способности точно выполнять однообразные вычисления и действия. Иначе говоря, человеко-машинная система - система, в которой человек-оператор или группа операторов взаимодействует с техническим устройством в процессе производства материальных ценностей, управления, обработки информации и т.д.

Ниже приведен перечень функций при выполнении некоторой операции человеко-машинной системой технологического назначения. Он представлен пронумерованным списком, взятым за основу, но не претендующим на всеобщность. При этом имеется в виду, что некоторые функции могут выполняться параллельно и/или в очередности, определенной алгоритмом функционирования конкретной системы. Кроме того, функции могут быть дифференцированы в зависимости от необходимой детализации.

1. Постановка глобальной цели, целевая установка.
2. Диагностика состояния внешней среды
3. Материальное оснащение машины.
4. Энергетическое оснащение машины.
5. Диагностика состояния машины.
6. Принятие стратегических решений управления машины.
7. Постановка локальных целей и задач.
8. Адаптация к условиям внешней среды и состоянию машины.
9. Выработка алгоритма действий (тактика).
10. Формирование управляющих воздействий.
11. Выполнение движений рабочих органов.
12. Анализ результатов действий и выполнения задач.
13. Оперативная коррекция функций (п.п. 6 - 10) для решения последующих задач.
14. Обучение и самообучение на базе опыта.
15. Текущее техническое обслуживание.
16. Обмен сигналами и информацией с внешней средой и другими машинами.

Нужно иметь в виду, что функции, о которых идет речь в этой статье, относятся к последовательности управленческих и иных действий, необходимых для выполнения задачи или достижения цели. Их нельзя смешивать с перечнем функций или операций, определяемых назначением ма-

шины. Например, для станка к такому перечню относятся выполнение операций фрезерования, сверления, растачивания отверстий и пр.

В приведенном перечне функций п. 1 – постановка глобальной цели или выработка целевой установки (обобщенной задачи) всегда выполняется человеком. Этот человек может принадлежать к разным рангам в иерархической системе управления. В одних случаях это может быть оператор низшего уровня (рабочий, наладчик) при управлении единичным технологических объектом, а в других – руководитель высокого уровня, например при разработке целевой установки для мехатронного космического объекта.

Анализ распределения перечисленных функций в человеко-машинной системе между человеком и машиной позволяет сформировать нижеприведенные показатели качества важные для оценки совершенства МО.

Одним из характерных показателей мехатроники следует считать ***автономность мехатронного объекта***. Автономность (от греч. autonomia – независимость) – самостоятельность, самоуправление; способность самостоятельно действовать, выполнять задачи в определенное время (например, беспилотный летательный аппарат или космический манипулятор).

Под автономностью МО понимается его способность самостоятельно выполнять поставленную человеком задачу (целевую установку) без непосредственного участия человека в процессе функционирования объекта. Автономность объекта одно из важнейших свойств, выражающееся в его способности функционировать независимо, без помощи каких-либо вспомогательных внешних систем. При этом ***пространственные и временные рамки выполнения задач определены человеком,*** дающим целевую установку.

В связи с тем, что мехатронный объект может быть наделен интеллектуальными функциями очувствления, принятия решений, управления и пр., количество функций, выполняемых объектом-машиной самостоятельно, возрастает по мере совершенствования МО. Критерий автономности позволяет оценить уровень создаваемого или действующего мехатронного объекта, являясь основанием для суждения о его важнейшем качестве.

Для оценки этого качества предлагается такой показатель, как ***коэффициент автономности*** мехатронного объекта, равный отношению числа функций, которые выполняются непосредственно объектом, к общему числу функций, реализуемых данной человеко-машинной системой:

$$k_a = K_m / K_f = K_m/(K_m + K_o), \quad (1)$$

где K_m – количество функций в определенной человеко-машинной системе, выполняемых МО самостоятельно, K_f – общее количество функций, выполняемых человеко-машинной системой; K_o – количество функций, выполняемых человеком (оператором).

Если оценить коэффициент автономности с учетом того, что 1-я функция (постановка глобальной цели или целевая установка) выполняется непременно человеком, а не машиной, получим следующее выражение:

$$k_a = K_m / (K_f - 1). \quad (2)$$

Современная тенденция при построении машин нового поколения заключается в разработке МО с высокой степенью автономности и соот-

ветствующем коэффициентом k_a, стремящемся к 1. Верхний предел определяет полную автономность системы.

Значение достижения высокой автономности, свойственной возможностям мехатроники, трудно переоценить. К преимуществам следует отнести и то, что с повышением автономности МО возрастает приоритет машины в точности исполнения действий, быстродействии, надежности (работа без усталости и пр.), возможности работы во вредных или недоступных для человека условиях и пр., т.е. **по свойствам, ограниченным человеческими возможностями.**

Таким образом, историческое стремление человечества сделать машину автономной, связано, на наш взгляд, с двумя обстоятельствами:

- заставить машину самостоятельно работать, выполнять то, что поручил ей человек;
- заставить машину производить такие операции, которые он сам без машины выполнить не может, или не так качественно, как требуется.

В таблице показан пример сравнения автономности различных станков. Представлены 5 градаций машин от простого станка до МО с полно развитыми функциональными возможностями для работы в «безлюдном производстве», способного автономно функционировать в течение длительного срока – 24 часа и более. Аналогично - от манипулятора с ручным управлением до андроида (антропоморфного робота):

I – станок с ручным управлением;
II – станок-полуавтомат;
III – станок-автомат;
IV – станок с ЧПУ;
V – станок – мехатронный объект для безлюдного производства.

Станки с различной степенью автономности

Номер функции	I	II	III	IV	V
1					
2					+
3			+	+	+
4					
5					+
6					+
7				+	+
8					+
9				+	+
10		+	+	+	+
11	+	+	+	+	+
12					+
13					+
14					+
15				+	+
16				+	+

Примечание. Знаком « **+** » отмечены присутствующие в машинах функции.

Аналогично представленному сформированы более «частные» показатели качества МС по сравнению с общим показателем автономности. К ним отнесены:

- автономность управления;
- сенсорная автономность;
- автономность обучения системы;
- адаптационная гибкость (в том числе реконфигурация);
- самообслуживание (в том числе устранение неисправностей);
- сохраняемость автономного функционирования, возможно в рамках более простого (автоматного) поведения системы;
- материальная автономность;
- энергетическая автономность.

Характерным для мехатронных систем, необходимым и своевременным, следует считать введение оценки ***уровня интеллектуальности*** в выполнении информационно-управляющих функций при работе МО. Уровень интеллектуальности может быть оценен следующей зависимостью:

$$K_i = I_m / (I_m + I_o), \quad (3)$$

где I_o – объем принимаемых решений человеком (оператором); I_m – объем принимаемых решений интеллектуальной системой управления мехатронного объекта.

Если оценку объема принимаемых решений в выражении (3) заменить оценкой соответствующего количества интеллектуальных функций из общего вышеприведенного перечня функций, выполняемых человеко-машинной системой, то получим коэффициент уровня интеллектуальности в виде:

$$k_i = K_{im} / (K_{im} + K_{io}), \quad (4)$$

где K_{io} - количество интеллектуальных функций управления, выполняемых человеком; K_{im} - количество интеллектуальных функций, выполняемых системой управления МО.

В вышеназванном перечне функций к интеллектуальным отнесены:
- Постановка глобальной цели, целевая установка.
- Диагностика состояния внешней среды.
- Диагностика состояния машины.
- Принятие стратегических решений управления машины.
- Постановка локальных целей и задач.
- Адаптация к (текущим) условиям внешней среды и состоянию машины.
- Выработка алгоритма действий (тактика).
- Формирование управляющих воздействий.
- Анализ результатов действий и выполнения задач.
- Корректировка функций для решения последующих задач.
- Обучение и самообучение на базе опыта.
- Обмен сигналами и информацией с внешней средой и другими машинами.

Так, например, из данных таблицы в соответствии с выражением (4) следует, что мехатронный объект IV имеет коэффициент уровня интеллектуальности k_i, равный 0,33, а объект V – 0,92.

Заключение. В каждом случае проектирования мехатронного объекта конкретного назначения решения о предпочтительных уровнях и коэффициентах автономности и интеллектуальности принимаются с учетом множества факторов, в том числе, особенностей заказа, конкурентоспособности и сложившейся конъюнктуры рынка. Здесь в общем можно лишь говорить о тех мерах, которые целесообразно принимать для повышения этих

качеств, ориентируясь на приведенный перечень функций некоторой человеко-машинной системы технологического назначения. Предложены следующие наиболее важные мероприятия из возможного перечня:

- Оптимизация сенсорной оснащенности, применение методов самостоятельной интеллектуальной оценки параметров состояния внешней среды, МО и выполняемых движений, обеспечение необходимой и достаточной информационной базы для принятия решений ИСУ [1].
- Оптимизация алгоритмов и моделей стратегических и тактических действий, формирования траекторий движения рабочих органов при автономном функционировании за счет применения методов искусственного интеллекта.
- Разработка и оснащение объектов аппаратными и программными средствами самообучения в процессе действий.
- Создание возможности достижения энергетической автономности для мобильных МО за счет достаточных емкостей аккумулированной энергии и минимизации ее расходования применением методов мехатроники [3].
- Доступность самостоятельного технического оснащения (например, заготовками, материалами и пр.) для проведения технологических операций в запланированное время.

Библиографический список

1. Тугенгольд А.К. Интеллектуальное управление мехатронными технологическими системами / А.К. Тугенгольд, Е.А. Лукьянов. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2004. – 117 с.
2. Тугенгольд А.К. Интеллектуальное управление технологическими системами / А.К. Тугенгольд, Е.А. Лукьянов, Э.В. Ремизов, О.Е. Коротков // СТИН. – 2008. – № 2. – С. 2-8.
3. Введение в мехатронику. Книга 1: учеб. пособие; изд. второе, перераб. и доп. /А.К. Тугенгольд, И.В. Богуславский, Е.А. Лукьянов и др.; под ред. А.К. Тугенгольда. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2002. – 175 с.

Материал поступил в редакцию 10.02.09.

A.K.TUGENGOLD

AUTONOMY AND INTELLIGENCE OF MECHATRONICS OBJECTS

In clause the representation about man-mechatronics systems is entered; on the basis of the analysis of interaction of the man and machine of object the concepts of autonomy and level intelligence are formulated, the dependences for definition of the appropriate estimations are offered.

ТУГЕНГОЛЬД Андрей Кириллович (р.1937), заведующий кафедрой «Робототехника и мехатроника» ДГТУ, профессор, доктор технических наук (1983). Окончил РИСХМ (1960).

Область научных интересов: интеллектуальное управление технологическими системами, динамика и точность мехатронных систем.
Автор более 200 научных работ, в том числе 18 учебных пособий и монографий.

atugengold@dstu.edu.ru